

# Trabalho de Conclusão de Curso

## **Avaliação do Tratamento de Efluente Industrial Utilizando Processo Oxidativo Avançado UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

**Gustavo Coutinho Rosa**

**Orientadora: Prof. Dra. Maria Eliza Nagel Hassemer**

**2014/1**





Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE  
INDUSTRIAL UTILIZANDO PROCESSO OXIDATIVO  
AVANÇADO UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

**GUSTAVO COUTINHO ROSA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Programa de  
Graduação em Engenharia Sanitária  
e Ambiental da Universidade Federal  
de Santa Catarina para a obtenção do  
Grau de Engenheiro em Engenharia  
Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Eliza  
Nagel Hassemer

Florianópolis, SC  
2014

**ROSA, G. C. Avaliação do Tratamento de Efluente Industrial Utilizando Processo Oxidativo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.** Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2014. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE  
INDÚSTRIA DE EMBUTIDOS UTILIZANDO PROCESSO  
OXIDATIVO AVANÇADO UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

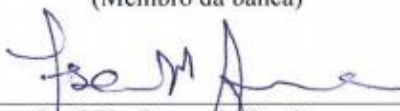
**GUSTAVO COUTINHO ROSA**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como  
parte dos requisitos para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental –  
TCC II

**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup>. Dra. Maria Eliza Nagel Hassemer  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino  
(Membro da banca)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fernando Sant'Anna  
(Membro da Banca)

Florianópolis (SC)  
Julho/2014



*Dedico este trabalho aos meus pais, Mário e Valéria. É por vocês que luto, é pra vocês que venço. Amo vocês!*





## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar saúde, dedicação e persistência para conseguir alcançar meus objetivos.

A meus pais por estarem sempre ao meu lado nessa caminhada, proferindo palavras de incentivo, ensinando a respeitar o próximo e chegar aos objetivos com humildade. Nas vitórias seu abraço carinhoso, nas derrotas mãos para me levantar. “Eu posso, eu devo e eu vou conseguir”.

A minha irmã, Clarissa, por estar sempre ao meu lado nos dias de estudos e nas horas em que mais precisei. “Ter uma melhor amiga-irmã, é um jeito de Deus cuidar da gente com um anjo especial.”

A minha namorada, Angélica, por estar ao meu lado nos momentos difíceis e fazer minha vida mais feliz. “Ser profundamente amado por alguém nos dá força; amar alguém profundamente nos dá coragem”.

A minha orientadora, professora doutora Maria Eliza Nagel Hassemer pela oportunidade de estudo, sempre fornecendo conhecimento com dedicação e atenção.

Ao Laboratório de Reuso de Águas (LARA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, pela disponibilização de infraestrutura para realização dos ensaios, e à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro.

Aos mestres pelos ensinamentos proferidos ao longo desses anos.

A toda à minha família, que esteve a meu lado nessa caminhada sempre proferindo palavras de apoio.

Aos meus amigos de faculdade por participarem dessa dura jornada a meu lado, estudando em madrugadas e fornecendo provas de companheirismo.

Aos meus verdadeiros amigos por estarem a meu lado nessa jornada, deixando-a mais divertida. “Para conhecermos os amigos é necessário pelo sucesso e pela desgraça. No sucesso, verificamos a quantidade e, na desgraça, a qualidade”.

“Os nossos pais amam-nos porque somos seus filhos, é um fato inalterável. Nos momentos de sucesso, isso pode parecer

irrelevante, mas nas ocasiões de fracasso, oferecem um consolo e uma segurança que não se encontram em qualquer outro.”  
(Bertrand Russel)

## RESUMO

A degradação de corpos hídricos é considerada um problema ambiental para a sociedade contemporânea. Um dos grandes responsáveis por tal degradação é o setor de indústrias frigoríficas, que geram efluentes com elevada carga orgânica, alto índice de sólidos suspensos, graxas e nutrientes, os quais além de elevar a turbidez, cor e demanda bioquímica de oxigênio, reduz o oxigênio dissolvido, podendo provocar, como consequência, a destruição da fauna e flora local. Neste sentido, a busca por novas tecnologias de tratamento desses efluentes é de extrema importância, como os Processos Oxidativos Avançados (POA), os quais representam uma área estratégica no que diz respeito ao tratamento de águas residuárias contaminadas com elevada toxicidade. O presente estudo tem como objetivo o tratamento de efluente de frigorífico pelo processo oxidativo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. O tempo de exposição à radiação UV foi de 60 minutos e foram testadas 4 diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio (50, 150, 300 e 500 mg/L). Amostras foram coletadas em tempos pré-determinados para análise. O processo apresentou remoção total de cor, 85,90 % de eficiência de remoção para a turbidez, 82,76% para sólidos suspensos totais, demonstrando ser uma boa alternativa para o tratamento de efluentes da indústria frigorífica.

**PALAVRAS-CHAVE:** indústria frigorífica, peróxido de hidrogênio, processo oxidativo avançado, radiação ultravioleta.



## ABSTRACT

The water bodies' degradation is considered to be an environment problem for the contemporary society. One of the great responsible for such degradation is the cold store industry sector, which generates effluents with high organic load, high amount of suspended solids, greases and nutrients, which, in addition to raise the turbidity, the color and the Biochemical Oxygen Demand, reduces the dissolved oxygen, which may cause the destruction of the local fauna and flora. In this respect, the pursuit of new treatment technologies for these effluents, such as the Advanced Oxidative Processes, which represents an strategic area in respect of the treatment of the highly toxicity contaminated wastewater, is of utmost importance. The present study aims to analyze the treatment of the cold store effluent, by using the oxidative process UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The exposure time to the UV radiation was 60 minutes, and four different concentrations of hydrogen peroxide were tested (50, 150, 300 and 500 mg/L). The samples were collected in pre-determined times for analysis. The process presented total color removal, an 85.90% effectiveness on the turbidity removal, 82.76% of effectiveness to total suspended solids, thus demonstrating to be a good alternative to the treatment of the cold store industry effluents.

**KeyWords:** advanced oxidative process, hydrogen peroxide, ultraviolet radiation, wastewater industry.





## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fluxograma processo produtivo de uma indústria de embutidos .....	28
<b>Figura 2:</b> Atual cenário do consumo de água .....	30
<b>Figura 3:</b> Fotografia do Reator UV utilizado nos experimentos .....	38
<b>Figura 4:</b> Equipamento utilizado nas análises de pH e temperatura.....	40
<b>Figura 5:</b> Equipamento utilizado na análise de cor .....	41
<b>Figura 6:</b> Equipamento utilizado na análise de turbidez .....	42
<b>Figura 7:</b> Bomba de vácuo utilizada na filtração da amostra .....	43
<b>Figura 8:</b> Equipamento utilizado na análise de Carbono Orgânico Dissolvido .....	43
<b>Figura 9:</b> Comportamento do pH após 60 minutos de irradiação UV, em função da concentração de $H_2O_2$ .....	45
<b>Figura 10:</b> Comportamento da temperatura após 60 minutos de irradiação UV, em função da concentração de $H_2O_2$ .....	46
<b>Figura 11:</b> Redução da cor após 60 minutos de irradiação UV, em função da concentração de $H_2O_2$ .....	47
<b>Figura 12:</b> Redução da cor após 60 minutos de irradiação UV, em função da concentração de $H_2O_2$ .....	48
<b>Figura 13:</b> Redução dos SST após uma hora de irradiação UV, em função da concentração de $H_2O_2$ .....	50
<b>Figura 14:</b> Redução de COD após uma hora de irradiação UV, em função da concentração de $H_2O_2$ .....	51
<b>Figura 15:</b> Redução de Cor e Turbidez após uma hora de irradiação UV, em função da concentração de $H_2O_2$ .....	54



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Maiores gastos de água dentro de uma indústria .....	311
<b>Tabela 2:</b> Volume de $H_2O_2$ utilizado nos ensaios em função das dosagens escolhidas .....	399
<b>Tabela 3:</b> Características do efluente utilizado nos ensaios fotoquímicos .....	444
<b>Tabela 4:</b> Eficiência da remoção de cor em função da dosagem de $H_2O_2$ após 60 minutos de tratamento .....	488
<b>Tabela 5:</b> Eficiência da remoção de turbidez em função da dosagem de $H_2O_2$ após 60 minutos de tratamento .....	499
<b>Tabela 6:</b> Eficiência da Remoção de Sólidos Suspensos Totais em função da dosagem de $H_2O_2$ após 60 minutos de tratamento .....	500
<b>Tabela 7:</b> Eficiência da Remoção de Carbono Orgânico Dissolvido em função da dosagem de $H_2O_2$ .....	522
<b>Tabela 8:</b> Residual de $H_2O_2$ em função das dosagens escolhidas .....	53



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
2	OBJETIVOS.....	25
2.1	Objetivo Geral .....	25
2.2	Objetivos Específicos.....	25
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	26
3.1	A Indústria Frigorífica.....	26
3.2	Tratamento Industrial .....	28
3.3	Reúso.....	29
3.4	Processo Oxidativo Avançado.....	32
3.5	Processo Oxidativo Avançado UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	32
3.5.1	A Fonte Luminosa.....	33
3.5.2	Peróxido de Hidrogênio .....	33
3.5.3	Fotólise Direta (UV) .....	34
3.6	Parâmetros de Qualidade da Água .....	35
3.6.1	pH e Temperatura.....	35
3.6.2	Turbidez e Sólidos Suspensos Totais .....	36
3.6.3	Carbono Orgânico Dissolvido (COD).....	37
3.6.4	Cor.....	37
4	METODOLOGIA.....	38
4.1	O Reator Fotoquímico .....	38
4.2	Procedimento.....	39
4.3	Análises Realizadas.....	39
4.3.1	pH e Temperatura.....	40
4.3.2	Cor.....	41
4.3.3	Turbidez .....	41
4.3.4	Sólidos Suspensos Totais .....	42
4.3.5	COD .....	42

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
6	CONCLUSÕES.....	55
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a sociedade enfrenta inúmeros problemas ambientais, destacando-se a degradação dos corpos hídricos. Um dos grandes responsáveis por tal degradação são os efluentes oriundos de indústrias frigoríficas, as quais geram efluentes com elevada carga orgânica, alto índice de sólidos suspensos, graxas e nutrientes. O alto consumo e a elevada poluição acarretam em crescentes dificuldades para utilização de água na indústria, sendo necessário, portanto, o tratamento desses efluentes.

Em função das deficiências apresentadas pelos sistemas convencionais de tratamento, usualmente representados por processos biológicos e de coagulação química, novas alternativas de tratamento têm sido propostas, como os Processos Oxidativos Avançados – POA. A grande vantagem desses processos reside no fato de ser um tipo de tratamento destrutivo, ou seja, o contaminante não é simplesmente transferido de fase, mas sim, degradado através de uma série de reações químicas (Higarashi et al., 2000).

Os Processos Oxidativos Avançados (POA's) têm sido amplamente estudados, pois podem ser aplicados no tratamento de esgoto, no tratamento de efluentes farmacêuticos e industriais, na produção de água ultrapura, na remediação de água subterrânea, na degradação de explosivos tóxicos, em laboratórios químicos, entre outros (Souza, 2013). Por meio dos Processos de Oxidação Avançada, as possibilidades de aplicação dos processos químicos por oxidação são ampliadas consideravelmente em relação aos procedimentos clássicos. Podem transformar muitas substâncias persistentes e dificilmente elimináveis, como por exemplo, hidrocarboneto clorado, carvão ativo pulverizado, policloreto de bifenila, defensivos agrícolas, adsorventes de organohalogenados, DQO refratária, formadores de complexos, etc, em substâncias ecologicamente inofensivas, biologicamente degradáveis e muitas vezes à total mineralização, ou seja, apresentando como produtos finais do tratamento:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e íons inorgânicos (Figawa, 1997; Higarashi et al., 2000).

No presente estudo utilizou-se o Processo Oxidativo UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , o qual utiliza a radiação ultravioleta para realizar a fotólise do peróxido de hidrogênio. Segundo Souza (2011), em um primeiro momento o peróxido de hidrogênio sofre fissão homolítica pela fotólise direta da irradiação UV, gerando o radical  $\bullet\text{OH}$ , que tem papel extremamente

importante na quebra de ligações químicas, eliminando inúmeros poluentes.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência do Processo Oxidativo Avançado UV/  $\text{H}_2\text{O}_2$  no tratamento de efluente de uma indústria frigorífica.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar a eficiência do processo na remoção da cor e matéria orgânica do efluente;
- Avaliar a evolução dos parâmetros: pH, temperatura, turbidez e sólidos suspensos totais durante o processo oxidativo;
- Determinar a melhor dosagem de  $\text{H}_2\text{O}_2$  que proporcione a melhor eficiência do sistema;
- Determinar o tempo mínimo de exposição à radiação UV que torne o tratamento eficiente.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A Indústria Frigorífica

A indústria frigorífica no Brasil iniciou-se com a imigração europeia, principalmente a alemã e a italiana. Com elas inúmeros costumes foram incorporados aos hábitos nacionais. Devido às mudanças climáticas e ao paladar nacional, os alimentos trazidos com os imigrantes passaram por algumas adaptações. Os donos de açougues começaram a realizar alterações no processamento industrial de carnes a partir da elaboração de embutidos mais simples, os quais passaram a integrar as refeições do dia a dia brasileiro. A produção iniciou-se de forma artesanal, algo muito comum na região oeste de Santa Catarina, até transformar-se em pequenas fábricas e produção em escala industrial. Muitas indústrias dessa vertente alimentícia adquirem a carne de abatedouros, seja bovina, suína ou de aves. Dessa forma, agregam valor aos cortes recebidos de outras indústrias.

No Brasil, os produtos cárneos comercializados estão regulamentados pela Portaria 1002 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). De acordo com a mesma os produtos se dividem em dois tipos: industrializados e salgados. Como não poderia ser diferente os produtos embutidos enquadram-se nessa classificação.

Segundo a exposta legislação, os produtos industrializados subdividem-se em:

- Produtos frescos embutidos ou não (linguiça);
- Produtos secos, curados e/ou maturados embutidos ou não (salames, presunto cru);
- Produtos embutidos cozidos ou não (mortadela);

Já os produtos salgados estão subdivididos em:

- Produtos salgados e crus (cudeguino);
- Produtos salgados cozidos (mortadela, salsichas) (BRASIL, 1998).

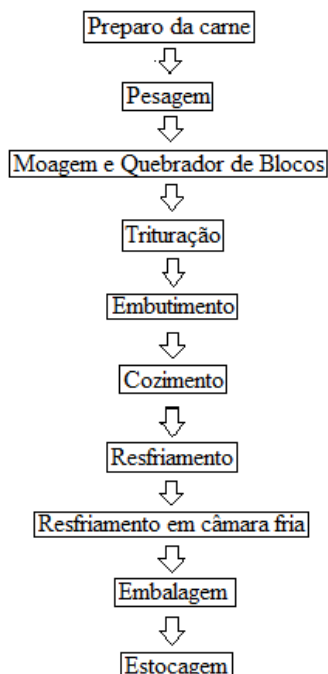
Como observado, os embutidos são apenas uma vertente dos produtos cárneos. Atualmente, são vários produtos fabricados e comercializados por uma indústria de embutidos. Geralmente, os fabricantes desse tipo de alimento classificam seus produtos em:

- Fabricação de frescais, são produtos tais como salsichão, linguiças;
- Fabricação de cozido, são produtos tais como mortadela, presunto;
- Fabricação de produtos curados, são produtos tais como copas, salaminho;
- Fabricação de produtos defumados, os quais geralmente são produtos frescais ou cozidos, com formulação adaptada para sofrer uma defumação.

Além da exposta divisão devido ao processo produtivo, no qual estão submetidos, os embutidos são classificados em produtos curados e produtos cozidos. Os produtos curados são obtidos através da secagem pelo sal e maturação dos tecidos em ambientes com temperatura e umidade controlados. Os produtos cozidos são obtidos através do tratamento térmico, a seco ou a vapor, dos cortes de carne fresca (CORETI, 1997).

Para melhor compreensão das atividades realizadas em uma indústria frigorífica de embutidos, foi montado um fluxograma com as etapas e produtos. A Figura 1 representa o fluxograma de uma indústria frigorífica. Ressalta-se a geração de efluentes nas etapas de produção de embutidos, os quais podem apresentar elevado índice de matéria orgânica em determinados momentos e em outros podem estar bastante diluídos em função da água de lavagem. Além disso, a água utilizada pode apresentar grande quantidade de produtos desinfetantes, variando de uma indústria para a outra.

**Figura 1:** Fluxograma processo produtivo de uma indústria de embutidos



Adaptado de SEBRAE (2006)

### 3.2 Tratamento Industrial

Há a necessidade do tratamento de efluentes industriais devido a seu alto potencial poluidor. Um tratamento bem realizado é capaz de minimizar impactos ambientais e conservar ecossistemas, além de preservar a qualidade do corpo hídrico. A indústria de embutidos escolhida para realização do presente estudo apresenta tratamento de seus efluentes.

O processo se inicia pelo tratamento preliminar, através do gradeamento, no qual ocorre a retirada de material grosseiro, como ossos, vísceras, tripas e gorduras. O gradeamento possui a função de

remover os sólidos grosseiros e os sólidos inorgânicos em suspensão. Sua finalidade em tratamento de efluentes é a proteção dos dispositivos de transporte do efluente, isto é, bombas, tubulações e peças especiais; a proteção das unidades de tratamento; a proteção do corpo receptor evitando inconvenientes, tanto em aspecto estético como em seu funcionamento normal e o aumento da eficiência de operação e desinfecção. Após o gradeamento, o efluente passa por um separador água-óleo, para retirada do óleo presente no efluente da indústria.

O processo de tratamento utilizado na presente indústria é o biológico, sendo que o mesmo possui a função de remover a matéria orgânica, os nutrientes, destacando-se o nitrogênio e o fósforo, e os sólidos em suspensão pela ação de microrganismos.

### 3.3 Reúso

É importante ressaltar a poluição dos corpos d'água da região, onde cerca de 90% estão contaminados, segundo o pesquisador da Epagri de Chapecó, Ivan Baldissera, em 2011. Tal poluição é proveniente da erosão, dejetos de animais, agrotóxicos, efluentes industriais e domésticos. Vale ressaltar o excesso de fósforo presente nos corpos hídricos da região, nutriente responsável pela eutrofização. O excesso do mesmo nos corpos hídricos deve-se ao uso excessivo de fertilizantes e agrotóxicos agrícolas. Desta maneira está cada vez mais difícil o tratamento da água na região, tanto para consumo humano quanto para uso industrial.

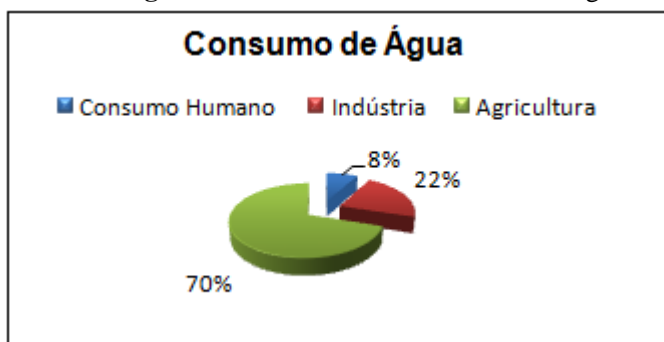
Em virtude do atual cenário de degradação dos corpos hídricos, tanto em esfera estadual como nacional, novas tecnologias e metodologias são necessárias para mudança desse panorama. Uma das ideias é o reúso do efluente na indústria, após o devido tratamento. Segundo Takashi Asano (1991), as tendências e fatores que motivam a recuperação e Reuso da Água podem ser:

- Redução da poluição dos cursos d'água;
- Disponibilidade de efluentes tratados com elevado grau de qualidade;
- Promover, a longo prazo, uma fonte confiável de abastecimento de água;
- Gerenciamento da demanda de água em períodos de seca, no planejamento global dos recursos hídricos;

- Encorajar a população para conservar a água e adotar práticas de Reuso.

Atualmente 22% do consumo de água são destinados para atividades industriais, segundo a Universidade da Água (UNIAGUA, 2005). A UNIAGUA é uma Organização Não Governamental sem fins lucrativos, cuja missão é proteger, preservar e recuperar a água. A Figura 2 apresenta o panorama do consumo de água, realizado pela respectiva ONG.

**Figura 2:** Atual cenário do consumo de água



Adaptado de UNIAGUA (2005)

Pode-se observar que a atividade industrial apresenta um alto consumo de água, o qual só tende a aumentar. Segundo a ONU, no ano de 2025, o consumo de água para uso industrial será duas vezes maior do que é atualmente. Muitas atividades dentro de uma indústria geram gastos excessivos de água, seja para lavagem, para resfriamento ou outra atividade. Sendo assim, a Tabela 1 mostra a visão de alguns estudiosos do tema sobre os maiores gastos de água dentro de uma indústria, nos quais os padrões de qualidade exigidos não são tão restritivos.

**Tabela 1:** Maiores gastos de água dentro de uma indústria

<b>Referência</b>	<b>Indicação de Uso</b>
ASANO, 1991	Refrigeração; Alimentação de Caldeiras; Águas de Processo; Construção Pesada
CROOK, 1996	Lavador de Gases; Todas citadas em ASANO, 1991.
HESPAHOL, 1997	Lavagem de Pisos e Peças; Irrigação de Áreas Verdes; Todas citadas em ASANO, 1991.
BEECKMAN, 1998	Todas citadas em ASANO, 1991.
MUJERIEGO & ASANO, 1999	Todas citadas em ASANO, 1991.

Vale ressaltar que o reuso da água se enquadra em uma política de Produção mais Limpa de uma organização. Em virtude de estar reaproveitando os efluentes gerados novamente dentro da indústria, após o devido tratamento, evitando que os mesmos sejam depositados no meio ambiente, causando degradação do mesmo.

Durante a manufatura de um produto, a P+L busca reduzir os impactos negativos desde a extração de matérias-primas até a sua disposição final. Em serviços, sua atenção refere-se à adoção de questões ambientais no projeto e distribuição dos mesmos (SPERANDIO e DONAIRE, 2005). Desta maneira, Produção mais Limpa é a denominação de uma estratégia ambiental preventiva aplicada a processos, produtos e serviços que possui o intuito de minimizar os impactos sobre o meio ambiente. A P+L visa considerar todas as fases do processo de manufatura de um produto buscando prevenir e minimizar os riscos para o ser humano e ecossistemas presente no meio ambiente.

Não se quer dizer com o presente estudo que as indústrias somente irão utilizar o reuso de água em virtude da preservação dos mananciais e da minimização dos impactos ambientais gerados pelo lançamento de efluentes no meio ambiente, há um terceiro fator que influencia, e muito, o pensamento de empresários para a busca do reuso: a economia financeira gerada pela redução do consumo de água. Serão metros cúbicos economizados, reduzindo gastos financeiros da indústria e, conseqüentemente, aumentando os lucros.

### 3.4 Processo Oxidativo Avançado

Processos Oxidativos Avançados são processos de oxidação que geram radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ), os quais são espécies altamente oxidantes e em quantidade suficiente provocam a mineralização da matéria orgânica à dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Esses radicais podem ser formados por vários sistemas os quais podem ser classificados em sistemas homogêneos ou heterogêneos, conforme a ausência ou a presença de catalisadores na forma sólida, além de poderem estar ou não sob irradiação (TEIXEIRA e JARDIM, 2004). Desta maneira, os Processos Oxidativos Avançados são classificados como fotoativados ou não-fotoativados. Entre os processos que não necessitam da presença de luz pode-se citar: Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$ , pH 3), Fenton Modificado,  $\text{O}_3/\text{pH}>8,5$  e  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ . Entretanto, há processos que necessitam da presença de luz para ocorrer, como: Foto-Fenton,  $\text{UV}/\text{O}_3$ ,  $\text{UV}/\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ , Fotocatálise e  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ , o qual será objeto de estudo no presente trabalho.

### 3.5. Processo Oxidativo Avançado $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$

Como mencionado, no presente estudo dá-se ênfase ao Processo Oxidativo Avançado  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ , o qual utiliza a radiação ultravioleta para realizar a fotólise do peróxido de hidrogênio. Segundo Souza (2011), em um primeiro momento o peróxido de hidrogênio sofre fissão homolítica pela fotólise direta da irradiação UV, gerando o radical  $\cdot\text{OH}$ , que tem papel extremamente importante na quebra de ligações químicas, eliminando inúmeros poluentes. A grande vantagem desses processos reside no fato deles ser um tipo de tratamento destrutivo, ou seja, o contaminante não é simplesmente transferido de fase, mas sim, degradado através de uma série de reações químicas (HIGARASHI et al., 2000).

Se comparado a outros processos possui vantagens operacionais, pois não há geração de resíduos, o qual representa uma das maiores dificuldades operacionais enfrentadas em uma estação de tratamento de efluentes que utiliza o tratamento biológico aerado. Desta forma, não é necessário preocupação com o tratamento e disposição final de lodo. O fato de não gerar resíduos eleva o processo oxidativo avançado  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$  a condição de tecnologia limpa. E no atual momento que vive a



sociedade mundial é necessária a busca pela utilização de tais tecnologias.

De acordo com a literatura, o tratamento de efluentes com peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta separadamente, não apresenta eficiência adequada. Segundo Shu e Chang (2005) e Bali et al (2004) o uso combinado de  $H_2O_2$  e radiação UV é mais eficiente do que os dois utilizados separadamente. Isto em virtude da capacidade da radiação UV converter o peróxido em radical hidroxila.

Para realização de um completo entendimento a respeito do assunto abordado, é necessário dar enfoque aos parâmetros envolvidos na fotólise.

### **3.5.1 A Fonte Luminosa**

A radiação ultravioleta é um tipo de radiação eletromagnética invisível ao olho humano, com comprimentos de onda menores que a luz visível e mais longos que os dos raios X. A radiação ultravioleta natural é produzida principalmente pelo sol, mas nem todos os comprimentos de onda chegam à superfície terrestre. Parte deles, principalmente os mais nocivos aos seres vivos, é interceptada pela alta atmosfera, notadamente pela camada de ozônio (ALMEIDA, 2013). Sabe-se que a radiação ultravioleta possui comprimentos de onda nocivos aos seres vivos, porém, como abordado por Almeida (2013), grande parte é interceptada pela camada de ozônio. O grande problema são ações antrópicas nocivas ao meio ambiente, como a utilização de clorofluorcarbonos, os famosos CFC's, usados em larga escala há certo tempo atrás. Tais ações antrópicas estão destruindo a camada de ozônio, deixando o planeta mais exposto aos comprimentos de onda nocivos, os quais tem potencial de alterar o DNA dos seres vivos, gerando o temido câncer de pele. Sendo que o mesmo é alvo de grande preocupação no Brasil, devido a forte exposição do país aos raios ultravioletas. Segundo Oliveira et al. (2005), quanto mais próximo da linha do Equador, maiores serão os níveis de radiação UV. Isso torna o Brasil, os demais países da América Latina e da África mais expostos que países do hemisfério norte.

### **3.5.2 Peróxido de Hidrogênio**

O oxidante utilizado no Processo Oxidativo Avançado UV/  $H_2O_2$  é o Peróxido de Hidrogênio ( $H_2O_2$ ), conhecido na vida cotidiana como

água oxigenada. O  $\text{H}_2\text{O}_2$  puro é líquido com coloração azul pálido, possuindo ponto de ebulição de  $152,1\text{ }^\circ\text{C}$  e ponto de congelamento  $-0,89\text{ }^\circ\text{C}$ . No comércio é facilmente manipulável devido à sua fácil decomposição, originada pela sua capacidade oxidante.

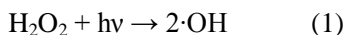
O peróxido de hidrogênio é um dos oxidantes mais versáteis que existe, superior ao cloro, dióxido de cloro e permanganato de potássio; através da catálise,  $\text{H}_2\text{O}_2$  pode ser convertido em radical hidroxila ( $\text{OH}$ ) com reatividade inferior apenas ao flúor (MATTOS, 2002). No presente estudo o Peróxido de Hidrogênio será convertido a radical hidroxila através da incidência de radiação ultravioleta.

Tal composto possui a capacidade de atravessar membranas biológicas e degradar DNA e proteínas, tem elevado poder bactericida. Mas o grande benefício desse composto químico é que o mesmo não apresenta toxicidade residual. O que é de extrema importância quando está se tratando um efluente para ser lançado futuramente em um corpo hídrico ou reaproveitado. Nesse sentido Moda (2005) afirma que o peróxido de hidrogênio tem elevado poder bactericida, é de fácil aplicação e não apresenta toxicidade residual após sua remoção com catalase.

Há a necessidade de encontrar a dosagem ótima de Peróxido de Hidrogênio, já que seu excesso pode originar reações competitivas com os radicais  $\cdot\text{OH}$ , causando efeito inibitório na degradação dos poluentes, onde o  $\text{H}_2\text{O}_2$  captura os radicais hidroxila formando um radical menos reativo, o  $\text{HO}_2$ , resultando em uma queda de eficiência do processo.

### 3.5.3. Fotólise Direta (UV)

No presente estudo, a radiação ultravioleta produz a quebra do peróxido de hidrogênio em radical hidroxila ( $\text{OH}$ ). Uma molécula de peróxido de hidrogênio possui capacidade de formar duas moléculas de radicais hidroxilas, conforme a Equação 1.



### **3.6 Parâmetros de Qualidade da Água**

Para realização do presente estudo foi necessária a definição de parâmetros importantes na qualidade de um corpo hídrico, como: turbidez, cor, Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Sólidos Suspensos Totais (SST) os quais serão abordados no estudo a fim de observações a respeito da capacidade de remoção de cada um dos parâmetros com o uso do processo oxidativo em questão.

Temperatura e pH funcionam como parâmetros de monitoramento, ou seja, foram observados durante todo o processo, visando conclusões a respeito de seu comportamento. O intuito é a observação de qual faixa o pH se manteve e se o processo oxidativo provocou uma elevação muito acentuada de temperatura.

O COD foi abordado no presente estudo a fim de verificar a eficiência do processo na remoção de matéria orgânica. O excesso do mesmo em corpos hídricos pode acarretar na diminuição de índices de oxigênio, causando mortandade de organismos aquáticos dependentes deste elemento químico.

Já a turbidez e sólidos suspensos totais foram utilizados para avaliação da eficiência do processo na remoção de materiais em suspensão. Vale ressaltar que o excesso dos mesmos pode funcionar como abrigo para microrganismos, protegendo-os de etapas de desinfecção.

Para uma melhor compreensão do estudo será realizada uma abordagem sobre cada parâmetro escolhido.

#### **3.6.1 pH e Temperatura**

O pH representa a concentração de íons hidrogênio ( $H^+$ ) em escala logarítmica, dando uma indicação sobre a condição de acidez ( $pH < 7$ ), neutralidade ( $pH = 7$ ) ou alcalinidade da água ( $pH > 7$ ) (VON SPERLING, 2005). A Resolução CONAMA 357/05 estabelece faixas de pH para diversas classes de águas naturais. Algumas condições de pH colaboram para a precipitação de elementos químicos tóxicos, causando prejuízos ao tratamento e ao meio ambiente. Existem condições de pH em que o mesmo pode exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta maneira, a faixa de pH para proteção da vida aquática é entre 6 e 9.

Temperatura é a grandeza que caracteriza o estado térmico de um corpo. A temperatura está associada ao grau de agitação das moléculas.

Ou seja, pode-se definir como quente um corpo que possui alta agitação de suas moléculas e frio aquele corpo que possui baixa agitação das mesmas. A temperatura exerce papel importante no controle do meio aquático já que condiciona uma série de parâmetros físico-químicos. Um deles é a solubilidade, a qual é inversamente proporcional à temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura, menor é a capacidade de reter gases (SILVA, 2013). A temperatura da água influencia processos biológicos, reações químicas e biológicas (VON SPERLING, 2005).

pH e temperatura são parâmetros de monitoramento no presente estudo, ou seja, devem ser observados durante todo o processo visando a observação do comportamento dos mesmos no efluente.

### **3.6.2 Turbidez e Sólidos Suspensos Totais**

Turbidez e Sólidos Suspensos Totais foram os parâmetros escolhidos para verificar a eficiência de remoção de materiais em suspensão do efluente.

Segundo Von Sperling (1996), a turbidez representa o grau de interferência na passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. Sua origem pode ser natural como partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microrganismos; e/ou de origem antrópica, como despejos domésticos, despejos industriais e erosão. A alta turbidez pode influenciar negativamente as comunidades biológicas aquáticas, além disso, afeta adversamente os usos domésticos, industrial e recreacional de uma água (CETESB, 2009). Águas que apresentam alta turbidez podem gerar grandes impactos ambientais ao corpo hídrico. O primeiro deles é o impacto estético gerado. Geralmente, a população leiga trata a água turva como água poluída, não sendo necessariamente sinônimos. Outro impacto gerado é o fato de a turbidez limitar a penetração de raios solares, restringindo a realização da fotossíntese e, consequentemente, a troca gasosa nos corpos hídricos.

Vale ressaltar que, assim como a turbidez, os sólidos suspensos, podem funcionar como esconderijos para microrganismos, deixando-os protegidos à ação da desinfecção. Além disso, o excesso de sólidos suspensos, também, deixa a água esteticamente prejudicada.

### **3.6.3 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)**

Carbono Orgânico Dissolvido inicialmente é definido como toda partícula orgânica menor que 2  $\mu\text{m}$ . Segundo Thomas(1997), o composto orgânico varia desde moléculas pequenas e estruturalmente simples, como aminoácidos, açúcares e ácidos carboxílicos simples, até moléculas maiores e mais complexas, como as substâncias húmicas.

O carbono orgânico dissolvido origina-se da decomposição de plantas e animais e é composto por proteínas, carboidratos, lipídios e compostos húmicos.

No presente estudo o Carbono Orgânico Dissolvido será utilizado a fim de observação da capacidade de oxidação da matéria orgânica com a utilização do processo oxidativo avançado.

### **3.6.4 Cor**

Por muito tempo acreditava-se que o controle da cor em corpos hídricos era somente por fatores estéticos. Com o passar do tempo e o avanço das pesquisas, descobriu-se que a cor pode indicar a presença de compostos orgânicos. Os quais são, em sua maioria, de origem vegetal. Tais compostos orgânicos podem levar a formação de inúmeras substâncias. Entre elas: ácidos fúlvicos, húmicos e himatomelânicos, segundo Di Bernardo (1999). Black e Christman (1963) afirmam que o ácido fúlvico é o principal composto orgânico responsável pela cor, correspondendo a uma fração de 87% do total.

A cor pode ser dividida em aparente ou verdadeira. A verdadeira é a cor presente em virtude da presença de substâncias dissolvidas. Já a aparente é a cor presente em virtude da presença de substâncias dissolvidas e substâncias em suspensão. Ou seja, uma parcela pode estar ligada à turbidez.

## 4 METODOLOGIA

Os experimentos descritos neste trabalho foram realizados no Laboratório de Reuso de Águas (LARA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Para o presente estudo escolheu-se uma indústria frigorífica da região oeste de Santa Catarina, com relevância na agricultura e pecuária, com destaque para a criação de rebanhos bovinos e suínos.

### 4.1 O Reator Fotoquímico

Os ensaios de degradação fotoquímica foram realizados em reator UV de bancada, apresentando volume útil de 1,1 L e fonte de radiação assegurada por uma lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão, de 25 W de potência, com emissão de radiação em 254 nm. A lâmpada é suportada por um tubo de quartzo permitindo irradiação de forma uniforme. O reator era de fluxo de pistão, do tipo STERILIGHT modelo SSM-24, de formato cilíndrico, em aço inox, onde no seu interior ficava acoplado o tubo de quartzo com a lâmpada. O volume de amostra adicionada no reator para os ensaios foi de 1,0 L e os ensaios foram realizados em duplicata. A Figura 3 apresenta a imagem do reator de oxidação utilizado nos experimentos.

**Figura 3:** Fotografia do Reator UV utilizado nos experimentos



## 4.2 Procedimento

Os ensaios foram realizados em batelada. Nos mesmos foram definidas quatro diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio (50, 150, 300 e 500 mg/L), de forma a se obter uma concentração ideal de oxidante. O tempo de irradiação UV foi de 60 minutos. A tempos determinados de tratamento (0, 5, 10, 15, 30, 45 e 60 min), um volume de 30 mL de amostra era retirada do reator para determinação de pH, cor, turbidez, temperatura, SST e material orgânico na forma de COD..

Como o efluente possuía excesso de gorduras, fragmentos de carne, ossos e vísceras foi necessário realizar uma filtração para retirada do material particulado. Esta filtração foi realizada com filtro de papel tipo Mellita, que apresenta porosidade maior. A mesma foi suficiente para remoção de grande parte dos sólidos em suspensão.

O volume de peróxido de hidrogênio (1,11 kg/L, 35% em massa, extra puro) correspondente à concentração desejada foi adicionado à amostra que em seguida era colocada no reator. É importante encontrar a quantidade necessária de agente oxidante, não só por motivação econômica, mas também, pela evidência do efeito inibidor que o excesso de peróxido poderá causar no processo, diminuindo a eficiência de degradação. O residual de peróxido de hidrogênio foi medido ao final dos ensaios através de tiras analíticas da Merck. A Tabela 2 apresenta os volumes que foram utilizados no presente estudo.

**Tabela 2:** Volume de  $H_2O_2$  utilizado nos ensaios em função das dosagens escolhidas

Dosagem (mg/L)	Volume (mL)
50	0,13
150	0,39
300	0,78
500	1,29

## 4.3 Análises Realizadas

Em virtude da necessidade da observação do comportamento dos parâmetros analisados foram utilizados equipamentos disponíveis no Laboratório de Reuso de Águas (LARA). A seguir serão dadas maiores

informações sobre cada equipamento e como foram realizadas as análises nos mesmos.

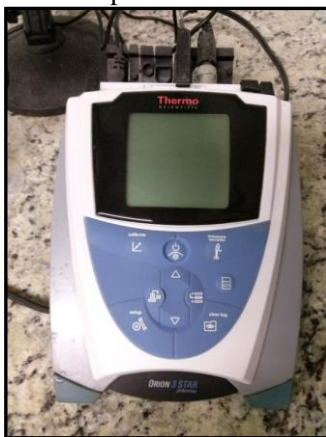
#### 4.3.1 pH e Temperatura

Para determinação e monitoramento do pH e temperatura em cada amostra retirada foi utilizado um pHmetro modelo ORION 3 STAR da Thermo Scientific.

Cada amostra retirada foi levada imediatamente para análise de pH e temperatura. Uma sonda presente no equipamento foi imersa em cada amostra e dentro de poucos minutos o leitor do equipamento estabilizou-se, podendo ser realizada a leitura. Ressalta-se a importância da calibração do equipamento antes das medições, para evitar possíveis erros de leitura.

A Figura 4 representa o equipamento, para melhor compreensão do mesmo e da metodologia de trabalho.

**Figura 4:** Equipamento utilizado nas análises de pH e temperatura





### 4.3.2 Cor

Para determinação de cor utilizou-se Espectrofotômetro DR 2010 da HACH.

Para determinação desse parâmetro utilizou-se a curva do próprio equipamento cuja leitura foi realizada em 455 nm, com unidade em PtCo. Ressalta-se a importância de zerar as leituras com uma amostra de água destilada antes das análises, para evitar possíveis erros de medição. A Figura 5 apresenta o espectrofotômetro utilizado para determinação de cor.

**Figura 5:** Equipamento utilizado na análise de cor



### 4.3.3 Turbidez

Para determinação de turbidez utilizou-se o Turbidímetro (método nefelométrico) modelo 21COP da HACH. A unidade dos resultados gerados é NTU. A Figura 6 apresenta o turbidímetro utilizado para determinação de turbidez.

**Figura 6:** Equipamento utilizado na análise de turbidez



#### **4.3.4 Sólidos Suspensos Totais**

Para determinação de sólidos suspensos utilizou-se o Espectrofotômetro modelo DR 2010 da HACH, método 8006 – fotometric method (adaptado de Sewage and Industrial Wastes). Para determinação de tal parâmetro utiliza-se a curva cujo comprimento de onda era igual a 810 nm e a unidade é mg/L. Antes de levar a amostra ao aparelho é necessário a agitação da amostra de 500 mL por um tempo de 2 minutos, segundo recomendações da HACH. Ressalta-se a importância de zerar o equipamento com uma amostra de água destilada, para evitar possíveis erros de leitura. A Figura 5 apresenta o espectrofotômetro utilizado para determinação de sólidos suspensos, mesmo equipamento utilizado na análise de cor.

#### **4.3.5 COD**

Para realização da análise de COD é necessário uma filtração da amostra em membrana de 0,45  $\mu\text{m}$ , de acordo com o equipamento. Para facilitar a realização da filtração foi utilizado uma bomba de vácuo, mostrada na Figura 7, juntamente com um kitasato.

**Figura 7:** Bomba de vácuo utilizada na filtração da amostra



Após a filtração das amostras coletadas, as análises de COD foram realizadas no equipamento modelo TOC-L da empresa Shimadzu. Os dados de carbono orgânico são expressos em um monitor e sua unidade é mg/L. O equipamento juntamente com o monitor são mostrados na Figura 8.

**Figura 8:** Equipamento utilizado na análise de Carbono Orgânico Dissolvido



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As principais características do efluente bruto utilizado nos estudos são indicadas na Tabela 3. O efluente a ser utilizado foi coletado na tubulação de chegada da estação de tratamento, ou seja, antes de qualquer processo de tratamento.

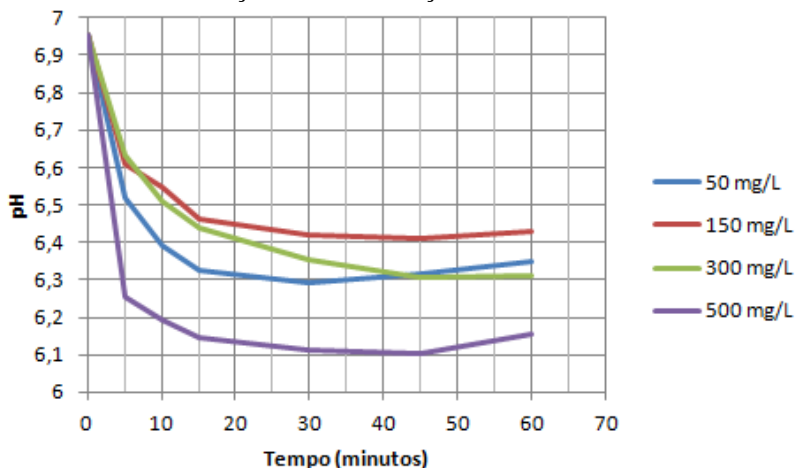
**Tabela 3:** Características do efluente utilizado nos ensaios fotoquímicos

Parâmetros	Valor	Unidade
pH	6,95	-
Cor	69,00	PtCo
Turbidez	13,20	NTU
SST	29,00	mg/L
COD	22,10	mg/L

O efluente foi submetido ao processo fotoquímico, e os resultados serão mostrados a seguir. A intensidade de luz UV, que influi na degradação dos compostos poluentes é um importante parâmetro de operação do processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Estudos realizados por Alaton et al. (2002); Araújo et al. (2006); Sadik e Nashed (2008), comprovam que somente a irradiação UV não promove diminuição significativa dos parâmetros analisados.

Em relação ao pH pode-se dizer que os resultados foram consistentes, pois se verificou uma redução do mesmo durante o processo fotoquímico, indicando que houve uma evolução de espécies iônicas na solução. A redução do pH é associada à produção de ânions de ácidos orgânicos e inorgânicos durante o processo fotoquímico, como indicado em vários estudos (Neamtu et al., 2001; Shu e Shang, 2005). O comportamento do pH durante o período de exposição da amostra à radiação ultravioleta é demonstrado na Figura 9.

**Figura 9:** Comportamento do pH após 60 minutos de irradiação UV, em função da concentração de  $H_2O_2$

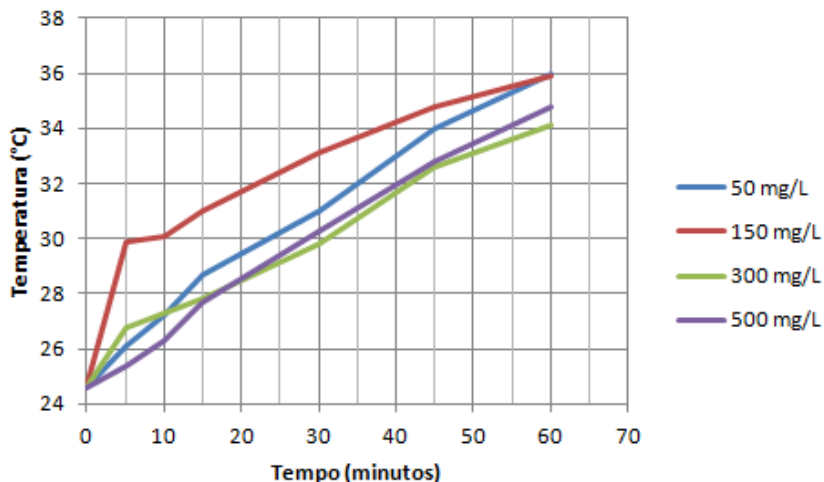


Não se quer chamar atenção para uma comparação direta entre o pH das diferentes dosagens, mais sim de um comportamento observado durante todo o período de exposição do efluente à radiação ultravioleta. Durante os minutos iniciais de tratamento, observa-se um declínio acentuado do valor de pH. Tal declínio ocorre em virtude do excesso de peróxido de hidrogênio, o qual é rapidamente oxidado, pela radiação ultravioleta, a radicais hidroxila. Com o passar do tempo há menor quantidade de Peróxido de Hidrogênio disponível, resultando em um decréscimo menos acentuado de pH.

Após 45 minutos de exposição à radiação ultravioleta, observa-se uma mudança comportamental da amostra, ou seja, há uma elevação gradativa do valor de pH. A qual pode ser explicada em função do aumento da temperatura, pois não havia sistema de refrigeração.

Outro parâmetro que deve ser cuidadosamente monitorado durante todo o processo é a temperatura. Seu comportamento é demonstrado na Figura 10 durante todo o período de exposição das amostras com diferentes dosagens de peróxido de hidrogênio à radiação ultravioleta.

**Figura 10:** Comportamento da temperatura após 60 minutos de irradiação UV, em função da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$

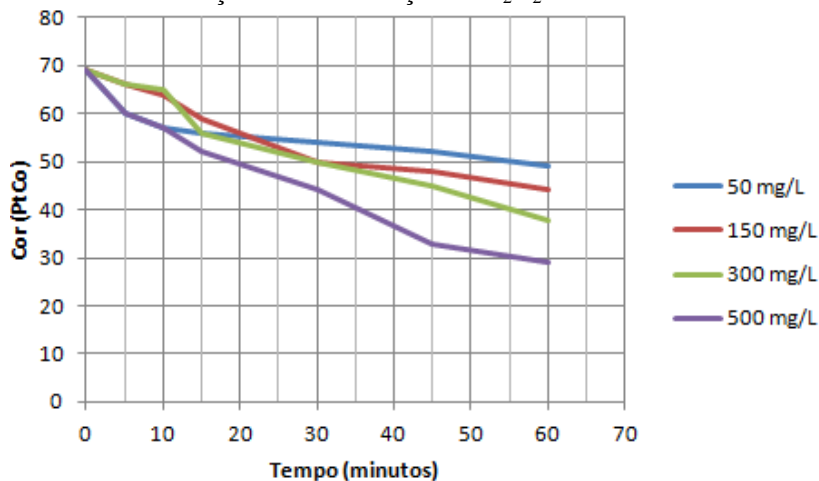


No gráfico, o que deve ser observado é o fato de a temperatura ascender de maneira contínua, ou seja, a temperatura é cada vez maior, não possuindo tendência de estabilização. Tal comportamento ocorre pelo fato de ser utilizada lâmpada de baixa pressão sem sistema de refrigeração.

Caso ocorresse o lançamento do efluente tratado em um corpo hídrico cuidadosos deveriam ser tomados em relação ao tempo de exposição do efluente no reator, para que a temperatura não extrapole o limite da legislação. Vale ressaltar que existem legislações que definem limites para o lançamento de tal parâmetro. A resolução CONAMA 430, por exemplo, afirma que a temperatura não deve ultrapassar os  $40^\circ\text{C}$ , sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a  $3^\circ\text{C}$  no limite da zona de mistura.

A Figura 11 mostra a redução da cor no efluente após 60 minutos de exposição à radiação ultravioleta nas dosagens estudadas.

**Figura 11:** Redução da cor após 60 minutos de irradiação UV, em função da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$



Como esperado, o processo oxidativo degradou grande parcela da cor do efluente, apresentando maior eficiência na concentração de 500 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . A descoloração pode ser explicada pela capacidade do processo fotoquímico em quebrar as duplas ligações dos compostos orgânicos, fazendo com que as moléculas percam a habilidade de absorver luz na região do visível (Kurbus, Le Marechal e Voncina; 2003).

A eficiência de remoção após 60 minutos de irradiação UV foi de 57,97 %. Pelos resultados, quanto maior a concentração de oxidante maior foi a eficiência de remoção da cor, podendo essa eficiência aumentar com a escolha de maiores concentrações de oxidante, caso já não estiver em excesso. Sendo que o mesmo pode originar reações competitivas com os radicais OH, causando efeito inibitório na degradação dos poluentes, onde o  $\text{H}_2\text{O}_2$  captura os radicais hidroxila formando um radical menos reativo, o  $\text{HO}_2$ , resultando em uma queda de eficiência do processo. O que não foi o caso do presente estudo, já que com o aumento da concentração de oxidante, houve melhora da eficiência.

Nota-se que não há a tendência de estabilização das dosagens, ou seja, continuam a decrescer continuamente. Percebe-se que um período de exposição de 60 minutos foi insuficiente para a completa degradação do parâmetro. Portanto, acredita-se que com um maior tempo de exposição à radiação ultravioleta, maior será a eficiência de remoção do

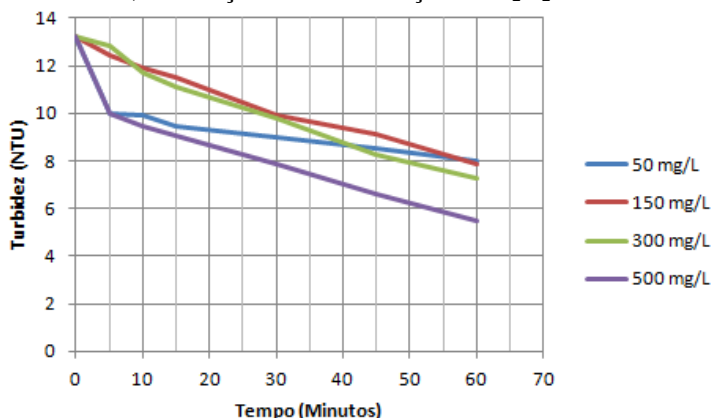
parâmetro. Para completo entendimento da eficiência de remoção obtida é mostrado a Tabela 4, considerando a cor do efluente bruto e do efluente após 60 minutos de aplicação do processo.

**Tabela 4:** Eficiência da remoção de cor em função da dosagem de  $\text{H}_2\text{O}_2$  após 60 minutos de tratamento

Dosagem (mg/L)	Eficiência (%)
50	28,99
150	36,23
300	44,93
500	57,97

Análises de turbidez foram realizadas durante o processo oxidativo. De acordo com Tang e Chen (2004), a elevada turbidez de um efluente é uma condição restritiva para os processos fotoquímicos, pois a mesma reduz a capacidade de penetração da luz no efluente inibindo a produção de radicais  $\bullet\text{OH}$ , sendo prejudicial ao processo. A Figura 12 mostra a redução da turbidez em função do tempo de irradiação UV e da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

**Figura 12:** Redução da turbidez após 60 minutos de irradiação UV, em função da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$





Nota-se que quanto maior a dosagem escolhida de peróxido, maior será a eficiência do processo. A Tabela 5 apresenta a eficiência do processo referente à turbidez para cada uma das dosagens utilizadas. Como esperado, a concentração de 500 mg/L apresentou a maior eficiência de degradação, chegando a uma remoção de, aproximadamente, 58 %.

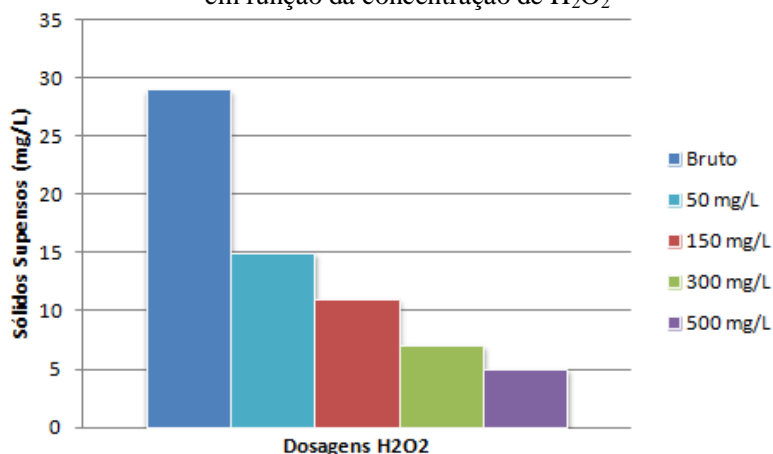
As curvas possuem tendência a continuar a decair com o passar o tempo, ou seja, em 60 minutos não há a tendência de estabilização da curva para nenhuma dosagem. Assim como para cor, o período de exposição à radiação ultravioleta é insuficiente. Acredita-se que caso houvesse maior tempo de tratamento, conseguir-se-ia uma maior eficiência de remoção. A mesma está muito aquém do esperado para um efluente tratado com possibilidade de reuso.

**Tabela 5:** Eficiência da remoção de turbidez em função da dosagem de  $\text{H}_2\text{O}_2$  após 60 minutos de tratamento

Dosagem (mg/L)	Eficiência (%)
50	39,62
150	40,30
300	44,92
500	58,48

A presença de sólidos suspensos, também, acarreta em uma elevação dos índices de turbidez presente na amostra. Portanto, análises de Sólidos Suspensos Totais foram realizadas nas amostras após o processo fotoquímico. A Figura 13 apresenta os valores dos SST após uma hora de oxidação fotoquímica, em função da concentração de peróxido de hidrogênio.

**Figura 13:** Redução dos SST após uma hora de irradiação UV, em função da concentração de  $H_2O_2$



O melhor resultado de remoção dos SST após uma hora de irradiação UV foi obtido nos ensaios em que se utilizou 500 mg  $H_2O_2$ /L com uma remoção de 82,76 %, indicando a efetividade do processo oxidativo na remoção da turbidez. Nota-se que quanto maior a concentração de peróxido de hidrogênio, maior a eficiência de remoção, conforme a Tabela 6.

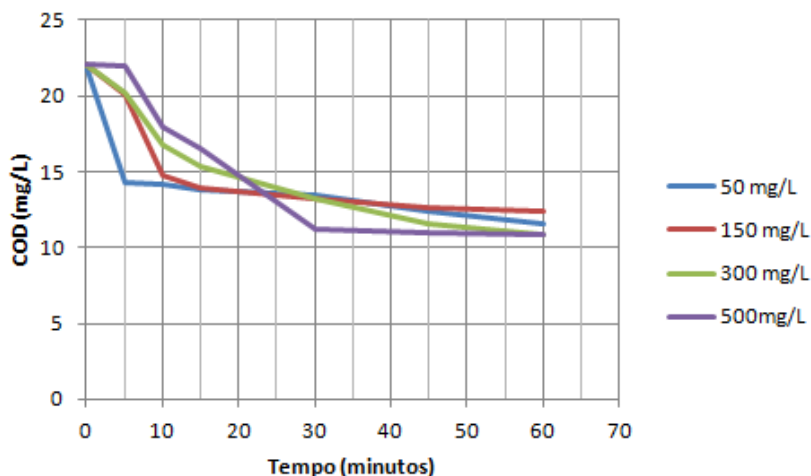
Vale ressaltar que o excesso de sólidos suspensos influencia negativamente na remoção de outros parâmetros, como cor e turbidez. Os sólidos suspensos bloqueiam a passagem de grande parte da radiação ultravioleta, evitando que a mesma converta todo o peróxido de hidrogênio em radicais hidroxila, reduzindo a eficiência do processo.

**Tabela 6:** Eficiência da remoção Sólidos Suspensos Totais em função da dosagem de  $H_2O_2$  após 60 minutos de tratamento

Dosagem (mg/L)	Eficiência (%)
50	48,28
150	62,07
300	75,86
500	82,76

Para avaliar a efetividade do processo UV/  $\text{H}_2\text{O}_2$  na remoção da matéria orgânica do efluente, análises de COD foram realizadas antes e após o processo oxidativo. O COD é uma medida da quantidade de carbono orgânico que pode ser oxidado à  $\text{CO}_2$  e a sua determinação avalia a taxa de mineralização, que é um importante indicador da efetividade do processo. A Figura 14 mostra os valores de COD e a eficiência de remoção com 60 minutos de tratamento nas diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio aplicadas.

**Figura 14:** Redução de COD após uma hora de irradiação UV, em função da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$



Percebe-se que quanto menor as dosagens, maior o rendimento inicial, pelo fato de haver menos peróxido do que nas demais, resultando em uma maior facilidade de conversão a radicais OH pela radiação ultravioleta. Com o passar do período de exposição, as maiores dosagens começam a apresentar maior remoção de matéria orgânica. Pode ser observado que com 30 minutos de tratamento, uma remoção de 49,41% foi alcançada utilizando-se 500 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e que após esse período não houve melhora significativa da eficiência de remoção. Com 60 minutos de tratamento, com 300 e 500 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , uma remoção de, aproximadamente, 50% foi obtida para ambos os ensaios. Portanto

há uma grande dificuldade do processo em remover matéria orgânica. A eficiência de remoção de matéria orgânica pode ser observada na Tabela 7.

De acordo com Kurbus, et al. (2003), a baixa redução de COD pode ser explicada pelo fato que durante a descoloração, novas substâncias orgânicas podem ter sido formadas (não identificadas), as quais não são coloridas, mas que necessitam de maior tempo de oxidação para sua degradação.

Estudos na literatura reportam que a baixa remoção de matéria orgânica no processo é devida à oxidação incompleta dos compostos orgânicos, fazendo com que a mineralização total não aconteça. A mineralização completa acontece quando se obtém alta eficiência de remoção da carga orgânica do efluente, através da transformação da carga inicial em subprodutos inertes, geralmente menos tóxicos, ou mesmo à  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (Almeida et al., 2004; Zanella et al., 2010).

**Tabela 7:** Eficiência de Carbono Orgânico Dissolvido em função da dosagem de  $\text{H}_2\text{O}_2$

Dosagem (mg/L)	Eficiência (%)
50	44,03
150	47,87
300	50,86
500	52,99

Os resultados mostraram que quanto maior a dosagem de oxidante, maior foi a eficiência do processo. Notou-se também que ao final do período de exposição à radiação ultravioleta, houve sobra de peróxido de hidrogênio, portanto um maior tempo de exposição do efluente poderia aumentar a eficiência do processo. A tabela 8 apresenta a concentração do peróxido de hidrogênio após 60 minutos de tratamento.

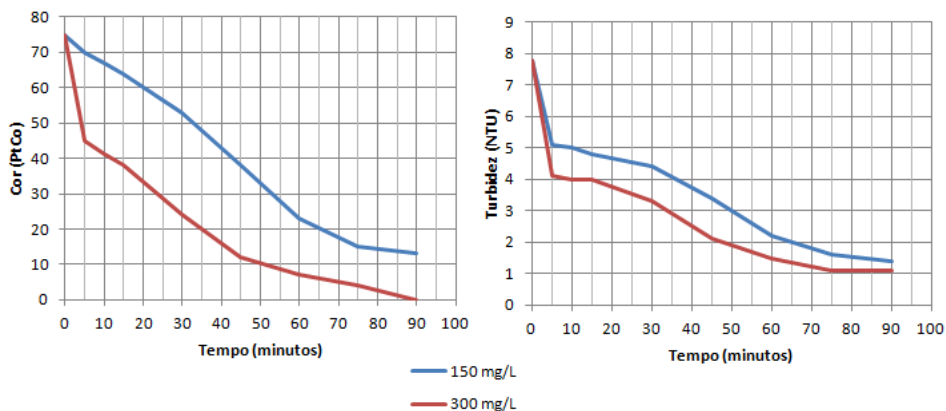
**Tabela 8:** Residual de  $H_2O_2$  em função das dosagens escolhidas

Dosagem (mg/L)	Peróxido de Hidrogênio Final (mg/L)
50	1,00
150	2,00
300	5,00
500	7,00

Acredita-se que com um período de exposição maior à radiação ultravioleta, haverá conversão em radicais hidroxila, podendo ocorrer melhorias de eficiência no processo. Aliado a isso, como mencionado, observa-se que os gráficos de cor e turbidez não apresentaram tendência de estabilização no período de 60 minutos, acreditando-se na possibilidade de melhoria de eficiência de remoção dos parâmetros em um maior período de exposição. Portanto, houve a necessidade de novas análises para observação do comportamento de eficiência de cor e turbidez com um novo período de exposição à radiação ultravioleta, o qual foi definido em 90 minutos. Escolheu-se as duas dosagens intermediárias, 150 e 300 mg/L, para novos testes de observação do comportamento do efluente durante o processo. Vale ressaltar que se buscou os melhores resultados com o menor gasto econômico, ou seja, o melhor custo-benefício. Por isso, não deve ser escolhido um tempo de exposição muito alto, para evitar o gasto excessivo de energia elétrica com a utilização de radiação ultravioleta nem uma dosagem excessiva de  $H_2O_2$ . Escolheram-se as dosagens intermediárias para novos testes para evitar o gasto excessivo com produtos químicos, já que 500 mg/L é uma dosagem excessiva e não apresentou grande destaque sobre as demais.

Outro ponto observado foi o excesso de sólidos suspensos totais no processo, influenciando negativamente na eficiência de remoção de parâmetros escolhidos. Isto pelo motivo de os sólidos impedirem a completa passagem da radiação ultravioleta pelo efluente, atingindo o oxidante. Em virtude disso, para os novos experimentos, foi realizada uma nova filtração para remoção do excesso de sólidos suspensos, como foi realizada nas análises anteriores, facilitando a penetração da radiação ultravioleta no efluente. O resultado dos ensaios em relação a cor e turbidez pode ser visualizado na Figura 15.

**Figura 15:** Redução de Cor e Turbidez após uma hora de irradiação UV, em função da concentração de  $H_2O_2$



Após 90 minutos de tratamento o processo apresentou grande eficiência de remoção de cor, comprovando o fato de a eficiência estar intimamente ligada ao tempo de radiação UV. Ressalta-se que a filtração inicial do efluente foi fator determinante para uma maior eficiência do processo, visto que neste ensaio de turbidez o efluente foi filtrado com filtro de menor porosidade, diminuindo a turbidez inicial. A dosagem de 300 mg/L de  $H_2O_2$  apresentou remoção total de cor, enquanto que para a turbidez uma eficiência de remoção de 85,90 % foi alcançada com 90 minutos de tratamento. Outro fator importante observado foi que após 90 minutos de processo oxidativo, não foi encontrado residual de  $H_2O_2$ , ou seja, ele foi totalmente consumido durante o processo.

Pelos resultados deste trabalho, pode-se dizer que a dosagem de oxidante que apresentou a melhor eficiência de remoção dos parâmetros analisados foi 300 mg/L de  $H_2O_2$  com um tempo de irradiação UV de 90 minutos. Nesse tempo não foi analisada a remoção de COD, pelo motivo de a mesma estabilizar após 30 minutos de tratamento.

## 6 CONCLUSÕES

As seguintes conclusões foram obtidas no presente estudo:

- A dosagem de  $H_2O_2$  influencia o processo de oxidação, obtendo-se melhores eficiências de remoção em uma concentração ótima de oxidante.
- A descoloração requer menor tempo de irradiação UV em relação à redução da matéria orgânica.
- Um período de 60 minutos mostrou-se insuficiente para remoção de cor e turbidez. Um período de 90 minutos apresentou melhores eficiências: 85,90% para turbidez e remoção total de cor.
- O Processo Oxidativo Avançado apresentou boa eficiência na remoção de sólidos suspensos totais, chegando a 82,76% com 500 mg/L e 60 minutos de exposição à radiação ultravioleta.
- O processo UV/ $H_2O_2$  mostrou-se uma técnica promissora no tratamento de efluente de indústria frigorífica.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. L. **Efeitos da radiação ultravioleta-B na organização celular e fisiológica da estrutura foliar de *Oryza sativa* (L.) cultivar EPAGRI 108.** Florianópolis, SC, 2013. 99f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e do Desenvolvimento.

ARAUJO, F. V. F. YOKOYAMA, L. TEIXEIRA, L. A. C. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV. *Química Nova*, São Paulo, v. 29, n. 1, p 11-14, Jan./Fev. 2006.

ASANO, T.; Levine, A. D. **Wasterwater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future.** *Water Scienc Technology*: v. 33, 1991.

BAGESTAN, M. M. **Perfil sensorial, físico, químico e microbiológico de embutido de peito de peru (*Maleagris gallopavo*) defumado.** Florianópolis, SC, 2012. 77f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos.

BRASIL. Decreto nº 30.691, de 29 de Março de 1952. Aprova o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal RIISPOA. Alterado pelos decretos 1255 de 25/06/62; 1236 de 02/09/79; 1812 de 08/02/96 e 2244 de 04/06/97. **Diário Oficial.** Brasília, p. 240, 1997.

BRASIL. **Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde.** Portaria nº 1002, de 11 de Dezembro de 1998. Lista os produtos, comercializados no país, enquadrando-se na categoria 8 carnes e produtos cárneos. Disponível em <http://www.anvisa.gov/alimentos>. Acessado em 25/05/2014.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos



sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. 2009. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>. Acesso em Maio de 2014.

DEZOTTI, M. **Processos e Técnicas para o Controle de Efluentes Líquidos**. Volume 5 da Série Escola Piloto de Engenharia Química. Ed. Epapers, 1ª edição, 2008.

FERREIRA, A. L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 43, n.1, p. 1-16, 1997.

FIGAWA – Associação Federal das Empresas do Setor de Gás e Água da Alemanha. Grupo de Trabalho Oxidação por Via Úmida. Comunicado Técnico N°19 (1997).

HESPAÑOL, Ivanildo; MIERZWA, José Carlos. **Água da indústria: uso racional e reúso**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2002. 143 p.

HIGARASHI, M.M., MOREIRA, J. C., OLIVEIRA, A. S.e FERREIRA, L. F. V. (2000) A Utilização de Processos Oxidativos Avançados na Descontaminação do Meio Ambiente. Química - Boletim SPQ. Lisboa. 79, 16-20.

KURBUS, T.; LE MARECHAL, A.M.; VONCINA, D.B.; **Dyes Pigments**. 2003. V. 58; 245.

MATTOS, I. L. et al. Peróxido de Hidrogênio: importância e determinação. Química Nova, Bauru, v. 26, n. 3, p 373-380, outubro 2002.

MILLIOLI, Valéria S. **Avaliação da potencialidade da utilização de surfactantes na biorremediação de solo contaminado com hidrocarbonetos de petróleo**. 200 f. Tese (Doutorado) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MODA, E. M. et al. Uso de Peróxido de Hidrogênio e Ácido Cítrico na conservação de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* IN NATURA. Ciência e tecnologia dos Alimentos, Campinas, n. 25(2), p. 291-296, abr.-jun. 2005.

NEAMTU, M.; SIMINICEANU, I.; YEDILER, A.; KETTRUP, A. (2001) Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation, *Dyes Pigm.* 53, 93-99.

OLIVEIRA, G.F. CAMPOS, R.L.C.; TEMPORAL, W.F. Efeitos da radiação ultravioleta nas atividades aéreas e terrestres. **Revista Médica da Aeronáutica do Brasil**, Rio de Janeiro, v. 55, p. 19-26, 2005.

QUADROS, M. E. L.; SCHIRMER, W. N. O uso da fotocatalise para a desinfecção e desodorização do ar interno. *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*. V. 4 N. 2 Maio/Agosto. 2008.

SEVERO, J. **Radiação UV-C altera a transcrição de genes e as respostas fisiológicas em tomate e morango**. Pelotas, RS, 2012. 122f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pelotas. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

SILVA, C. F. **Relação entre Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e elementos metálicos em águas naturais da porção leste do quadrilátero ferrífero**. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2013.

Shu Y. and Shang M.C. (2005) Decolorization and mineralization of a phthalocyanine dye C.I. Direct Blue 199 using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process, *J. Hazard. Mat.* **B125**, 96-101.

SOARES, H. M. **Tratamento de Efluentes**. Departamento de Engenharia Química e de Alimentos – EQA/Universidade Federal de Santa Catarina. 105 p. 2011

SOUZA, B.S. **Avaliação do processo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV como pós-tratamento e remoção da atrazina de um efluente secundário de ETE para fins de reúso**. Rio de Janeiro, RJ, 2011. 165f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Programa de Pós-Graduação em Química.

SOUZA, R.C. (2013) **Avaliação da remoção de amoxicilina e cefalexina da urina humana por oxidação avançada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) com vistas ao saneamento ecológico**. Dissertação (Mestrado) -

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental.

SPERANDIO, S. A.; DONAIRE, D. Produção Limpa: da concepção à realidade. XII Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, São Paulo, **Anais...** 2005.

TANG, C. e CHEN, V. (2004) **The photocatalytic degradation of reactive black 5 using TiO<sub>2</sub>/UV in an annular photoreactor. Water Research**, 38, 27.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. Processos Oxidativos Avançados – Conceitos Teóricos. **Caderno Temático Volume 03**. UNICAMP-SP, 2004. 83p.

TELEMACO, E. P. **Degradação fotoquímica de efluentes industriais contendo polipropileno e isoniazida**. Natal, RN, 2008. 187f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

UNIVERSIDADE DA ÁGUA. Disponível em: [uniagua.org.br](http://uniagua.org.br) (2010). Última visita em 25/05/2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. V.1. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005. 452 páginas.

Zanella G., Scharf M., Vieira G. A. and Peralta-Zamora P. (2010) Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-Fenton e avaliação da potencialidade de reuso, *Quim. Nova*, 33, 5, 1039-1043.